



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

MAILED 21 JUN 2004

WIPO PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03101852.6

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

BEST AVAILABLE COPY



Anmeldung Nr:
Application no.: 03101852.6
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 24.06.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Philips Intellectual Property & Standards
GmbH
Steindamm 94
20099 Hamburg
ALLEMAGNE
Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué, se référer à la description.)

Vorrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines bewegten
Objektes

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

A61B6/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT RO SE SI SK TR LI

BESCHREIBUNG

Vorrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines bewegten Objektes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes wie z.B. des Herzens, welches einer
5 zyklischen Eigenbewegung unterliegt.

Aus der US 2002/0126794 A1 ist eine Rotations-Röntgenapparatur bekannt, mit welcher dreidimensionale Abbildungen vom Herzen eines Patienten rekonstruiert werden können. Ein Problem bei derartigen Rekonstruktionen besteht darin, dass das darzustellende Objekt nicht statisch ist, sondern aufgrund des Herzschlags einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt. Eine weitere wichtige Quelle für die Eigenbewegung von Organen ist bei medizinischen Untersuchungen die Atmung eines Patienten. Die mit einer Rotations-Röntgenapparatur aus verschiedenen Richtungen aufgenommenen 2D
10 Projektionen des Herzens bilden das Herz in verschiedenen Bewegungszuständen ab. Werden diese Projektionsaufnahmen zur Rekonstruktion einer 3D-Abbildung des Herzens verwendet unter der Annahme, dass sie ein statisches Objekt wiedergeben, so entstehen zwangsläufig Rekonstruktionsfehler. Zur Minimierung derartiger Fehler wird in der US 2002/0126794 A1 vorgeschlagen, parallel zu den Röntgenaufnahmen das
15 Elektrokardiogramm (EKG) aufzuzeichnen und dann zur Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung nur solche Projektionsaufnahmen zu verwenden, welche aus etwa derselben EKG-Phase stammen. Mit einem solchen an der EKG-Phase orientierten Verfahren kann eine erhebliche Verbesserung der 3D-Rekonstruktion erzielt werden. Dennoch zeigt es sich, dass weiterhin gewisse Unschärfen und Artefakte in den rekonstruierten
20 auftreten können.

Vor diesem Hintergrund war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Mittel zur Erzeugung von dreidimensionalen Abbildungen eines zyklisch bewegten Objektes wie insbesondere des Herzens bereitzustellen, die eine verbesserte Bildqualität liefern.

Diese Aufgabe wird durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

- 5 Die erfindungsgemäße Einrichtung dient der Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes, welches einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt. Bei dem Objekt kann es sich insbesondere um das Herz eines Patienten handeln, wobei die Erfindung jedoch nicht auf medizinische Anwendungen beschränkt ist. Die Einrichtung enthält eine bildgebende Vorrichtung, mit welcher zweidimensionale Projektionsauf-
- 10 nahmen des genannten Objektes aus verschiedenen Projektionsrichtungen erzeugt werden können. Des Weiteren enthält die Einrichtung eine mit der genannten bildgebenden Vorrichtung gekoppelte Datenverarbeitungseinrichtung, welche zum Beispiel durch Ausstattung mit entsprechender Software dazu eingerichtet ist, aus den Projektionsaufnahmen eine dreidimensionale Abbildung des Objektes zu rekonstruieren. Für
- 15 diese Aufgabe geeignete Verfahren und Algorithmen sind z.B. aus dem Bereich der Computertomografie bekannt. Die Datenverarbeitungseinrichtung ist ferner dazu eingerichtet, für die genannte Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung nur solche Projektionsaufnahmen auszuwählen und zu verwenden, für die sich die Projektionslinien eines charakteristischen Objektmerkmals annähernd im selben Raumpunkt
- 20 schneiden. Ein "charakteristisches Objektmerkmal" soll dabei ein dem Objekt anhaftendes und dessen Bewegung mitmachendes Merkmal sein, welches einen Körperpunkt auszeichnet und welches sich auf den Projektionsaufnahmen möglichst gut nachweisen lässt. Das Objektmerkmal kann beispielsweise ein am Objekt befindlicher Marker sein, welcher sich auf den Projektionsaufnahmen gut abhebt. Als "Marker" kann diesbezüg-
- 25 lich z.B. auch ein Katheter oder ein Stent (Gefäßstütze) dienen. Ebenso kann das Objektmerkmal auch ein Teil des Objektes sein, beispielsweise ein Verzweigungspunkt einer Objektstruktur. Im Rahmen medizinischer Anwendungen kann insbesondere der Verzweigungspunkt eines Gefäßes als ein Objektmerkmal dienen. Ferner wird unter der "Projektionslinie" eines Objektmerkmals diejenige (gedachte) räumliche Linie verstan-
- 30 den, welche für eine gegebene Projektionsaufnahme vom Projektionszentrum durch das

- Objektmerkmal zum Bildpunkt des Objektmerkmals auf der Projektionsebene bzw. Projektionsaufnahme führt. Bei einer Röntgenabbildung entspricht die Projektionslinie z.B. dem Verlauf eines Röntgenstrahls von der Strahlenquelle durch das Objektmerkmal zum zugehörigen Pixel auf dem Detektor. Des Weiteren wird für das "annähernde
- 5 Schneiden" von Projektionslinien (das selbstverständlich ein exaktes Schneiden einschließen soll) je nach den gegebenen Randbedingungen ein geeignetes Entscheidungsmaß im Einzelfalle festzulegen sein. Beispielsweise können alle solchen Projektionslinien als sich annähernd im selben Raumpunkt schneidend betrachtet werden, die sich auf weniger als 1% bis 5% der maximalen Breite der Projektionsaufnahmen nahe
- 10 kommen. Ähnliche Maßstäbe können selbstverständlich auch mit Hilfe von anderen Bezugsgrößen wie beispielsweise der Objektgröße definiert werden.

- Mit der beschriebenen Einrichtung ist eine Erzeugung von dreidimensionalen Abbildungen eines bewegten Objektes mit hoher Qualität möglich, da für die
- 15 Rekonstruktion der 3D-Abbildung nur solche zweidimensionalen Projektionsaufnahmen verwendet werden, die im Punkt (mindestens) eines charakteristischen Objektmerkmals bereits gut zueinander passen. Es ist daher davon auszugehen, dass diese Projektionsaufnahmen auch in den übrigen Objektpunkten übereinstimmen bzw. dass das Objekt sich bei den ausgewählten Projektionsaufnahmen jeweils in derselben
- 20 Phase der zyklischen Eigenbewegung befand und daher in etwa dieselbe Lage im Raum eingenommen hat. Bei der Anwendung der Einrichtung für die Abbildung des Herzens zeigt sich gegenüber bekannten, auf dem Elektrokardiogramm beruhenden Verfahren der Vorteil, dass der Bewegungszustand des Herzens unmittelbar als Auswahlkriterium verwendet wird. Die Auswahl von Projektionsaufnahmen zu derselben EKG-Phase
- 25 beruht dagegen implizit auf der Annahme, dass mit der elektrischen Phase auch eindeutig die Bewegungsphase des Herzzyklus verknüpft sei. Diese Annahme ist jedoch nicht immer exakt erfüllt, so dass bei den bekannten EKG-basierten Verfahren Rekonstruktionsfehler auftreten können. Diese Fehler sind bei der hier vorgeschlagenen Einrichtung prinzipiell ausgeschlossen.

- Die erläuterte Bedingung für die Auswahl von Projektionsaufnahmen zur Rekonstruktion einer dreidimensionalen Abbildung kann selbstverständlich auch in analoger Weise für mehr als ein Objektmerkmal gefordert werden. Das Auswahlverfahren kann dabei z.B. iterativ mit einem Objektmerkmal nach dem anderen durchgeführt werden, wobei die bei jeder Iteration entstehende Auswahl von Projektionsaufnahmen der nächsten Iteration zugrunde gelegt wird, die Auswahl also immer enger wird. In diesem Falle steigt die Genauigkeit, da die Lage des Objektes in den ausgewählten Projektionsaufnahmen an entsprechend vielen Punkten bereits übereinstimmt.
- 5
 - 10 Bei der bildgebenden Vorrichtung der Einrichtung kann es sich grundsätzlich um jede Apparatur handeln, mit welcher aus verschiedenen Richtungen Projektionsaufnahmen eines Objektes erzeugt werden können, aus denen sich eine dreidimensionale Abbildung rekonstruieren lässt. Beispiele hierfür sind ein Ultraschallgerät oder ein NMR-Gerät. Insbesondere kann es sich bei der bildgebenden Vorrichtung auch um eine Röntgen-
 - 15 apparatur mit einer Röntgenstrahlungsquelle und einem Röntgendetektor handeln, welche um eine gemeinsame Achse drehbar gelagert sind. Röntgenvorrichtungen dieser Art sind aus der 3D-Rotationsangiografie (3D-RA) bekannt, und die Röntgenstrahlungsquelle und der Röntgendetektor sind typischerweise an einem C-Arm befestigt.
 - 20 Weiterhin enthält die Einrichtung vorzugsweise eine mit der Datenverarbeitungseinrichtung gekoppelte Anzeigevorrichtung wie etwa einen Monitor, auf welcher die rekonstruierte dreidimensionale Abbildung dargestellt werden kann. Eine solche Anzeigevorrichtung ermöglicht es beispielsweise einem Arzt, das Ergebnis der dreidimensionalen Rekonstruktion visuell zu erfassen und unmittelbar für seine diagnostischen oder
 - 25 therapeutischen Tätigkeiten zu verwerten.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Vorrichtung ist die Datenverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet, die folgenden Schritte auszuführen:

- 5 a) Auswahl einer ersten Projektionsaufnahme aus einer Anzahl von mehreren Projektionsaufnahmen aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen. Diese Auswahl der ersten Projektionsaufnahme kann willkürlich (z.B. nach einem Zufallsprinzip), interaktiv durch einen Benutzer oder nach sonstigen anwen-
5 dungsspezifischen Kriterien (z.B. der Abbildungsqualität oder der zugehörigen EKG-Phase) erfolgen.
- 10 b) Zu der genannten ersten Projektionsaufnahme wird eine aus einer anderen Projektionsrichtung aufgenommene zweite Projektionsaufnahme derart ausgewählt,
10 dass sich die Projektionslinien eines charakteristischen Objektmerkmals für die erste und die zweite Projektionsaufnahme zumindest näherungsweise in einem Raumpunkt schneiden. Das charakteristische Objektmerkmal kann insbesondere durch ein Verfahren der automatischen Bildverarbeitung oder interaktiv durch
15 einen Benutzer lokalisiert werden und sollte so geartet sein, dass es auf möglichst allen Projektionsaufnahmen detektierbar ist. Nach der Lokalisierung des charak-
15 teristischen Objektmerkmals auf einer bestimmten Projektionsaufnahme lässt sich die räumliche Projektionslinie vom jeweiligen Projektionszentrum zum Bildpunkt des Objektmerkmals berechnen, so dass überprüft werden kann, ob sie sich mit der
20 entsprechenden Projektionslinie der ersten Projektionsaufnahme annähernd schnei-
20 det. Wenn dies der Fall ist, wird die betrachtete Projektionsaufnahme als "zweite Projektionsaufnahme" ausgewählt. Durch den Schnittpunkt der Projektionslinien liegt damit auch der Raumpunkt fest, welcher der (vermutlichen) tatsächlichen
25 Lage des Objektmerkmals entspricht und welcher für die nachfolgende Auswahl weiterer Projektionsaufnahmen verwendet wird.
- 30 c) Weitere Projektionsaufnahmen für die Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung werden so ausgewählt, dass die zugehörigen Projektionslinien des in Schritt b) verwendeten Objektmerkmals näherungsweise durch den in Schritt b) ermittelten Raumpunkt verlaufen. Insgesamt wird somit sukzessive eine Unter-
30 menge von Projektionsaufnahmen aus der gegebenen Anzahl von Projektionsaufnahmen ausgewählt, die hinsichtlich der räumlichen Lage des betrachteten charakteristischen Objektmerkmals zueinander passen.

Bei der vorstehend erläuterten Ausgestaltung der Einrichtung liegt die Projektionsrichtung der zweiten Projektionsaufnahme vorzugsweise etwa in einem Winkel von 90° zur Projektionsrichtung der ersten Projektionsaufnahme. Insbesondere kann sie in einem Winkelbereich zwischen 70° und 110° zur ersten Projektionsrichtung liegen. Auf diese Weise kann die Festlegung des Raumpunktes, der später für die Auswahl aller zur Rekonstruktion verwendeten Projektionsaufnahmen verwendet wird, mit größtmöglicher Genauigkeit erfolgen. Basierend auf der ersten Projektionsaufnahme liegen von diesem Raumpunkt nämlich nur zwei seiner drei Freiheitsgrade fest, da seine Position entlang der Projektionslinie aus der ersten Projektionsaufnahme nicht ermittelbar ist. Der dritte Freiheitsgrad wird durch den Schnittpunkt der Projektionslinien der zweiten Projektionsaufnahme mit der Projektionslinie der ersten Projektionsaufnahme bestimmt. Bei einer im Wesentlichen zur ersten Projektionsaufnahme senkrechten zweiten Projektionsaufnahme wird ein möglicher Fehler in der Bestimmung der Lage des Objektmerkmals in der Projektion minimal in die Bestimmung des Raumpunktes fortgepflanzt.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes, welches einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

20

- a) Erzeugung einer Anzahl von Projektionsaufnahmen des Objektes aus verschiedenen Raumrichtungen;
- b) Auswahl von Projektionsaufnahmen, für die sich die Projektionslinien eines charakteristischen Objektmerkmals annähernd im selben Raumpunkt schneiden;
- c) Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung aus den in Schritt b) ausgewählten Projektionsaufnahmen.

30

Das Verfahren umfasst in allgemeiner Form die mit einer Einrichtung der oben definierten Art ausführbaren Schritte. Für die weitere Erläuterung des Verfahrens und seiner Vorteile wird daher auf die obige Beschreibung der Einrichtung Bezug genommen. Insbesondere kann das Verfahren entsprechend den Merkmalen der Varianten der Einrichtung weitergebildet werden und zum Beispiel die mit der Datenverarbeitungseinrichtung gemäß Anspruch 6 ausführbaren Schritte umfassen.

Bei einer optionalen Ausgestaltung des Verfahrens werden die Projektionsaufnahmen durch eine Röntgenprojektion des Objektes erzeugt, wobei die jeweiligen Projektionszentren, von denen die Röntgenstrahlung ausgeht, annähernd auf einem Kreisbogen um das Objekt herum verteilt sind. Typischerweise erstreckt sich dabei der Kreisbogen über einen Bereich von ca. 180°, um alle voneinander unabhängigen Projektionsrichtungen zu erfassen.

Weiterhin wird die gemäß dem Verfahren rekonstruierte dreidimensionale Abbildung vorzugsweise auf einer Anzeigevorrichtung dargestellt, um für einen Anwender visuell verwertbar zu sein.

Im Folgenden wird die Erfindung mit Hilfe der Figuren beispielhaft erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung des Herzens;

Fig. 2 eine Prinzipdarstellung der Verhältnisse bei der erfindungsgemäßen Auswahl zweidimensionaler Projektionsaufnahmen desselben Bewegungszustandes des Herzens;

Fig. 3 die Größe des euklidischen Abstandes Δ_n zwischen der Projektion eines Raumpunktes \underline{r}_0 , welcher der räumlichen Lage eines Objektmerkmals in einer bestimmten Herzphase entspricht, und der Position des Bildpunktes dieses Objektmerkmals auf einer betrachteten Projektionsaufnahme mit dem Index n .

Die Erfindung soll nachfolgend ohne Beschränkung der Allgemeinheit am Beispiel einer medizinischen Anwendung, nämlich der dreidimensionalen Abbildung des Herzens beziehungsweise der Herzkranzgefäße eines Patienten, erläutert werden. Die hierfür verwendete Einrichtung enthält gemäß Figur 1 als bildgebende Vorrichtung eine

5 Rotations-Röntgenapparatur 1 mit einer Röntgenstrahlungsquelle 2 und einem Röntgendetektor 5. Die Röntgenstrahlungsquelle 2 und der Röntgendetektor 5 sind sich gegenüberliegend an einem C-Arm 6 angeordnet und können um den auf einer Liege 4

10 befindlichen Patienten 3 geschwenkt werden (zwei verschwenkte Positionen sind in der Figur gestrichelt dargestellt). Die aus verschiedenen Projektionsrichtungen erzeugten

10 Röntgenprojektionsaufnahmen P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , ... des Herzens werden an eine zur Steuerung und Bildverarbeitung dienende Datenverarbeitungseinrichtung 7 (z.B. eine Workstation) übermittelt. Die Datenverarbeitungseinrichtung 7 enthält insbesondere Software mit Algorithmen zur Bildverarbeitung, mit denen aus den zweidimensionalen

15 Projektionsaufnahmen P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , ... die dreidimensionale Form des Objektes bzw. seiner Strukturen, beispielsweise der Herzgefäße, rekonstruiert werden kann. Die

20 entsprechenden Algorithmen sind aus der Computertomografie bekannt und müssen daher vorliegend nicht weiter erläutert werden. Das Ergebnis der dreidimensionalen Rekonstruktion kann auf einem mit der Datenverarbeitungseinrichtung 7 gekoppelten Monitor 8 dargestellt werden, um dem behandelnden Arzt ein anschauliches Bild des

20 Gefäßbaumes zu geben.

Bei der erläuterten Rekonstruktion einer dreidimensionalen Abbildung der Herzkranzgefäße ist zu beachten, dass das Herz aufgrund des Herzschlages einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt. Die erzeugten Projektionsaufnahmen P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , ...

25 entstammen daher unterschiedlichen Phasen T_1 , T_2 , T_3 des Herzzyklus, während der das Herz jeweils andere Lagen im Raum annimmt. Für die Rekonstruktion sollten nur solche zweidimensionalen Projektionsaufnahmen (z.B. P_{i-1} , P_{i+1}) verwendet werden, die derselben kardialen Bewegungsphase (z.B. T_2 , was das Ende der Diastole sein kann) entsprechen. Bei bekannten Verfahren wird die diesbezügliche Auswahl von Projek-

30 tionsaufnahmen auf der Basis eines parallel aufgezeichneten Elektrokardiogramms

vorgenommen. Das EKG repräsentiert jedoch in erster Linie den elektrischen Zustand des Herzzyklus, welcher nicht immer mit dem Bewegungszustand übereinstimmen muss. Bei den bekannten Verfahren weist die rekonstruierte 3D-Abbildung somit häufig einen Rest an Unschärfe auf.

5

Um die geschilderten Probleme zu vermeiden, wird vorliegend das nachfolgend unter Bezugnahme auf Figur 2 näher erläuterte Verfahren zur Auswahl von Projektionsaufnahmen für die Rekonstruktion einer 3D-Abbildung vorgeschlagen. Figur 2 zeigt in einer perspektivischen Prinzipdarstellung die geometrischen Verhältnisse bei der

10 Aufnahme der Projektionsaufnahmen $P_i, P_j, P_k, P_l, \dots$. Jede der Projektionsaufnahmen entsteht als Zentralprojektion eines Objektes ausgehend von einem Projektionszentrum $S_i, S_j, S_k, S_l, \dots$. Die Projektionszentren entsprechen dabei der Position der Röntgenstrahlungsquelle 2 während der jeweiligen Projektionsaufnahme und liegen auf einem Bogen (z.B. Kreisbogen) verteilt, der im optimalen Fall einen Winkel von über 210°

15 abdeckt. Das aufgenommene Objekt 9 ist in der Mitte für den Zeitpunkt der Projektionsaufnahme P_i dargestellt, wobei darauf hinzuweisen ist, dass es während der anderen Projektionsaufnahmen in der Regel eine andere Form und Lage hat. Die im Objekt 9 enthaltene Gefäßverzweigung stellt ein geeignetes Objektmerkmal dar, da sie einen Punkt auf dem Objekt 9 markiert, welcher sich in (fast) allen Projektionsaufnahmen

20 verhältnismäßig gut lokalisieren lässt. Anstelle einer Gefäßverzweigung könnte auch ein Marker wie etwa eine röntgendichte Positionsmarke auf einem Katheter als Objektmerkmal verwendet werden.

Bei Erzeugung der Projektionsaufnahme P_i befindet sich die als Objektmerkmal

25 dienende Verzweigung des Objektes 9 im – zunächst unbekannten – Raumpunkt \underline{r}_0 . Dieser Raumpunkt \underline{r}_0 wird ausgehend vom Projektionszentrum S_i über die Projektionslinie l_i in den Bildpunkt X_i des Objektmerkmals auf der Projektionsaufnahme P_i abgebildet. Die Lage dieses Bildpunktes X_i kann in der Projektionsaufnahme P_i interaktiv oder mit Hilfe bekannter Verfahren der Bildverarbeitung automatisch

30 lokalisiert werden. Ebenso kann die Lage der Bildpunkte des Objektmerkmals auch auf

den anderen Projektionsaufnahmen ermittelt werden (z.B. der Bildpunkte X_j , X_k in den Projektionsaufnahmen P_j bzw. P_k), welche aus anderen Projektionsrichtungen aufgenommen worden sind und in der Regel zu anderen Phasen des Herzzyklus gehören.

- 5 Unter den Projektionsaufnahmen wird nun eine erste Projektionsaufnahme P_i zufällig, durch Interaktion eines Benutzers oder in sonstiger Weise ausgewählt. Es sollen ausgehend hiervon alle weiteren Projektionsaufnahmen ermittelt werden, die in einer gleichartigen Bewegungsphase des Herzens wie diese erste Projektionsaufnahme P_i aufgenommen wurden. Zu diesem Zweck wird zunächst eine zweite Projektionsaufnahme ausgewählt. Gemäß einem ersten Kriterium soll deren Projektionsrichtung etwa
 10 in einem Winkel α von 90° zur Projektionsrichtung der ersten Projektionsaufnahme P_i liegen. Bei der Darstellung von Figur 2 kommen somit die Projektionsaufnahmen um P_k herum grundsätzlich in Frage. Für diese in Frage kommenden Projektionsaufnahmen P_k , ... wird sodann gemäß einem zweiten Kriterium untersucht, ob die jeweils zugehörigen
 15 Projektionslinien l_k , ... die Projektionslinie l_i der ersten Projektionsaufnahme P_i schneiden beziehungsweise dieser bis auf weniger als eine vorgegebene Maximaldistanz nahe kommen. In Figur 2 ist dies für die Projektionslinie l_k der Fall, die das Projektionszentrum S_k mit dem Bildpunkt X_k des Objektmerkmals auf der Projektionsaufnahme P_k verbindet. Die so ermittelte Projektionsaufnahme P_k wird dann als "zweite Projektionsaufnahme" festgelegt, und der (näherungsweise) Schnittpunkt der Projektionslinien l_i
 20 und l_k definiert für das weitere Verfahren den Raumpunkt r_0 , an dem sich das Objektmerkmal (Gefäßverzweigung) während der zugrundeliegenden Herzbewegungsphase vermutlich befand.
- 25 Die oben erläuterte Auswahl der zweiten Projektionsaufnahme P_k kann auf äquivalente Weise auch mit Hilfe von Epipolarlinien durchgeführt werden. Für die Projektionsaufnahme P_k ist die Epipolarlinie $E_k(i)$ gestrichelt eingezeichnet. Sie entspricht der vom Projektionszentrum S_k aus vorgenommenen rechnerische Projektion der Projektionslinie l_i und beschreibt daher alle theoretisch möglichen Lagen des Objektmerkmals, die
 30 dieses bei alleiniger Kenntnis der ersten Projektionsaufnahme P_i haben könnte. Letztere

legt die räumliche Lage des Objektmerkmals nämlich nur bis auf einen Freiheitsgrad fest, da anhand der Projektionsaufnahme P_i nicht unterschieden werden kann, wo auf der Projektionslinie l_i das Objektmerkmal liegt. Mit Hilfe der Epipolarlinien kann nun für jede andere Projektionsaufnahme der euklidische Abstand berechnet werden, den
5 der auf der jeweiligen Projektionsaufnahme P_k , ... lokalisierte Bildpunkt X_k , ... des Objektmerkmals von der entsprechenden Epipolarlinie $E_k(i)$, ... hat. Die auszuwählende zweite Projektionsaufnahme P_k ist dann dadurch ausgezeichnet, dass ihr Objektmerkmal-Bildpunkt X_k den kleinsten Abstand zur zugehörigen Epipolarlinie $E_k(i)$ hat.

- 10 Mit Hilfe der ersten und der zweiten Projektionsaufnahme P_i bzw. P_k lässt sich wie bereits erwähnt der Raumpunkt r_0 der Lage des Objektmerkmals während der betrachteten Herzphase bestimmen. Sodann kann dieser Raumpunkt r_0 rechnerisch auf jede der übrigen Projektionsaufnahmen projiziert werden. Zum Beispiel wird für die Projektionsaufnahme P_j der Punkt X'_j berechnet, auf welchen der Raumpunkt r_0 vom Projektionszentrum S_j aus projiziert wird. Der euklidische Abstand Δ_j zwischen diesem Projektionspunkt X'_j und dem Bildpunkt X_j des Objektmerkmals in der Projektionsaufnahme P_j stellt dann ein Maß dafür dar, wie stark die der Projektionsaufnahme P_j zugrundeliegende Herzbewegungsphase von der Herzbewegungsphase während der ersten und zweiten Projektionsaufnahme P_i , P_k abweicht. Für die gewünschte Rekonstruktion einer dreidimensionalen Abbildung können somit gezielt solche Projektionsaufnahmen P_i ausgewählt werden, für welche die genannte Distanz Null ist beziehungsweise unter einem vorgegebenen Schwellwert liegt.

- Mit dem erläuterten Verfahren lassen sich somit aus der Reihe von Projektionsaufnahmen P_i , P_j , P_k , P_l , ... diejenigen auswählen, die zu derselben Herzbewegungsphase gehören, wobei vorteilhafterweise auf echte Bewegungsdaten und nicht auf abgeleitete elektrische Aktivitäten für die Bestimmung des Herzzyklus zurückgegriffen wird. Von Vorteil ist weiterhin, dass das verwendete Objektmerkmal aus einer besonders interessierenden Region des Objektes 9 gewählt werden kann und diese Region daraufhin
30 vorrangig mit hoher Genauigkeit in der dreidimensionalen Abbildung dargestellt wird.

Figur 3 zeigt für die entsprechend der Projektionsrichtung angeordneten und mit dem Index n nummerierten Projektionsaufnahmen (horizontale Achse) die jeweilige Größe des oben definierten euklidischen Abstandes Δ_n zwischen der berechneten Projektion des Raumpunktes \underline{r}_0 und der jeweiligen Bildposition des Objektmerkmals. Dabei ist die

5 zyklische Variation entsprechend dem Herzrhythmus deutlich zu erkennen. Für die Rekonstruktion einer dreidimensionalen Abbildung werden gemäß dem obigen Verfahren nur die Projektionsaufnahmen aus den "Tälern" des Kurvenverlaufes verwendet.

PATENTANSPRÜCHE

1. Einrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes (9),
welches einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt, enthaltend eine bildgebende
Vorrichtung (1) zur Erzeugung von Projektionsaufnahmen (P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , P_j , P_k , P_l) des
Objektes aus verschiedenen Projektionsrichtungen sowie eine hiermit gekoppelte
- 5 Datenverarbeitungseinrichtung (7) zur Rekonstruktion einer dreidimensionalen
Abbildung des Objektes aus den genannten Projektionsaufnahmen, wobei die Daten-
verarbeitungseinrichtung (7) dazu eingerichtet ist, für die Rekonstruktion der
dreidimensionalen Abbildung nur Projektionsaufnahmen (P_i , P_k , P_l) zu verwenden, für
die sich die Projektionslinien (l_i , l_k , l_l) eines charakteristischen Objektmerkmals
- 10 annähernd im selben Raumpunkt (r_0) schneiden.
2. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die bildgebende Vorrichtung eine Röntgenapparatur (1) mit einer Röntgen-
15 strahlungsquelle (2) und einem Röntgendetektor (5) ist, welche um eine gemeinsame
Achse drehbar gelagert sind.
3. Einrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass sie eine mit der Datenverarbeitungseinrichtung (7) gekoppelte Anzeigevorrich-
tung (8) zur Darstellung der rekonstruierten dreidimensionalen Abbildung enthält.

4. Einrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das charakteristische Objektmerkmal ein am Objekt befindlicher Marker, insbesondere ein Katheter oder ein Stent, ist.

5

5. Einrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das charakteristische Objektmerkmal ein Verzweigungspunkt (r_0) einer Objektstruktur, insbesondere eines Gefäßes, ist.

10

6. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Datenverarbeitungseinrichtung (7) dazu eingerichtet ist,

a) aus einer Anzahl von Projektionsaufnahmen (P_i, P_j, P_k, P_l) eine erste Projektionsaufnahme (P_i) auszuwählen;

15 b) zu der genannten ersten Projektionsaufnahme (P_i) eine aus einer anderen Projektionsrichtung aufgenommene zweite Projektionsaufnahme (P_k) derart auszuwählen, dass sich die Projektionslinien (l_i, l_k) eines charakteristischen Objektmerkmals für beide Projektionsaufnahmen (P_i, P_k) zumindest näherungsweise in einem Raumpunkt (r_0) schneiden;

20 c) weitere Projektionsaufnahmen (P_l) für die Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung so auszuwählen, dass die zugehörigen Projektionslinien (l_l) des charakteristischen Objektmerkmals näherungsweise durch den genannten Raumpunkt (r_0) verlaufen.

25 7. Einrichtung nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Projektionsrichtung der zweiten Projektionsaufnahme (P_k) etwa in einem Winkel (α) von 90° zur Projektionsrichtung der ersten Projektionsaufnahme (P_i) liegt.

8. Verfahren zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes (9), welches einer zyklischen Eigenbewegung unterliegt, umfassend die Schritte:

- a) Erzeugung einer Anzahl von Projektionsaufnahmen (P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , P_j , P_k , P_l) des Objektes (9) aus verschiedenen Richtungen;
- 5 b) Auswahl von Projektionsaufnahmen (P_i , P_k , P_l), für die sich die Projektionslinien (l_i , l_k , l_l) eines charakteristischen Objektmerkmals annähernd im selben Raumpunkt (r_0) schneiden;
- c) Rekonstruktion der dreidimensionalen Abbildung aus den in Schritt b) ausgewählten Projektionsaufnahmen.

10

9. Verfahren nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Projektionsaufnahmen (P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , P_j , P_k , P_l) durch eine Röntgenprojektion des Objektes (9) erzeugt werden, wobei die Projektionszentren (S_i , S_j , S_k , S_l) auf einem

15 Kreisbogen um das Objekt verteilt sind.

10. Verfahren nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass die rekonstruierte dreidimensionale Abbildung auf einer Anzeigevorrichtung (8)

20 dargestellt wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Vorrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines bewegten Objektes

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung eines Objektes (9) wie insbesondere des Herzens aus einer Reihe von (Röntgen-) Projektionsaufnahmen (P_i, P_j, P_k, P_l). Dabei werden für die Rekonstruktion nur solche der Projektionsaufnahmen verwendet, bei denen sich die Projektionslinien (l_i, l_k, l_l) eines charakteristischen Objektmerkmals in annähernd demselben Raumpunkt (I_0) schneiden. Das charakteristische Objektmerkmal kann insbesondere eine Gefäßverzweigung sein, die sich auf den Projektionsaufnahmen gut lokalisieren lässt.

Fig. 2

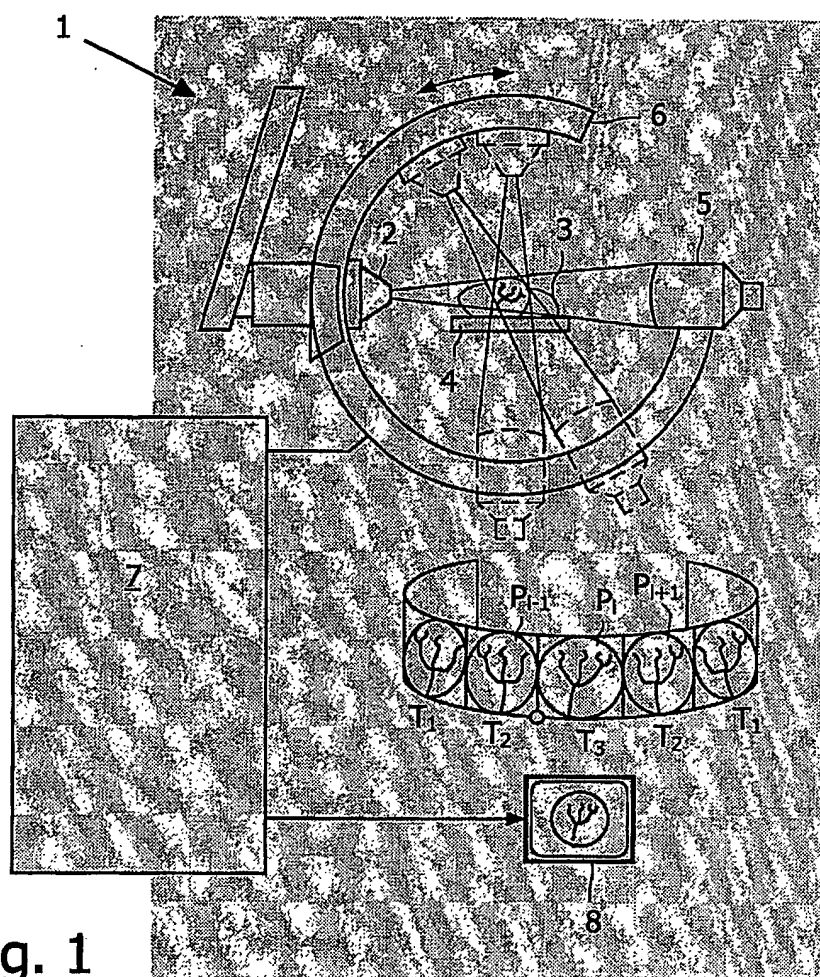
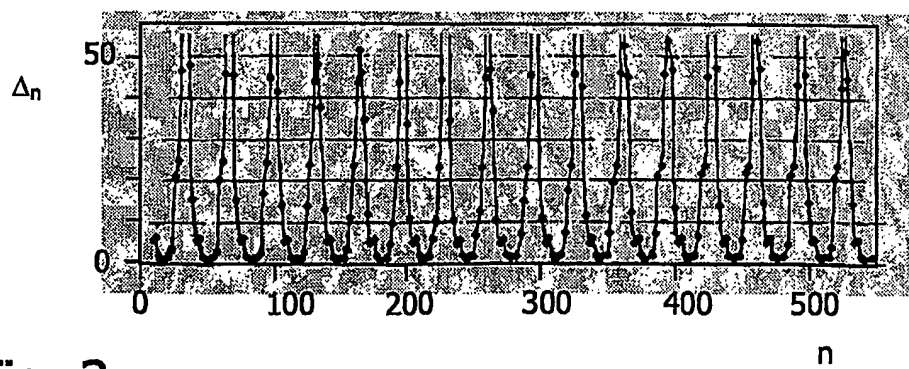


Fig. 3



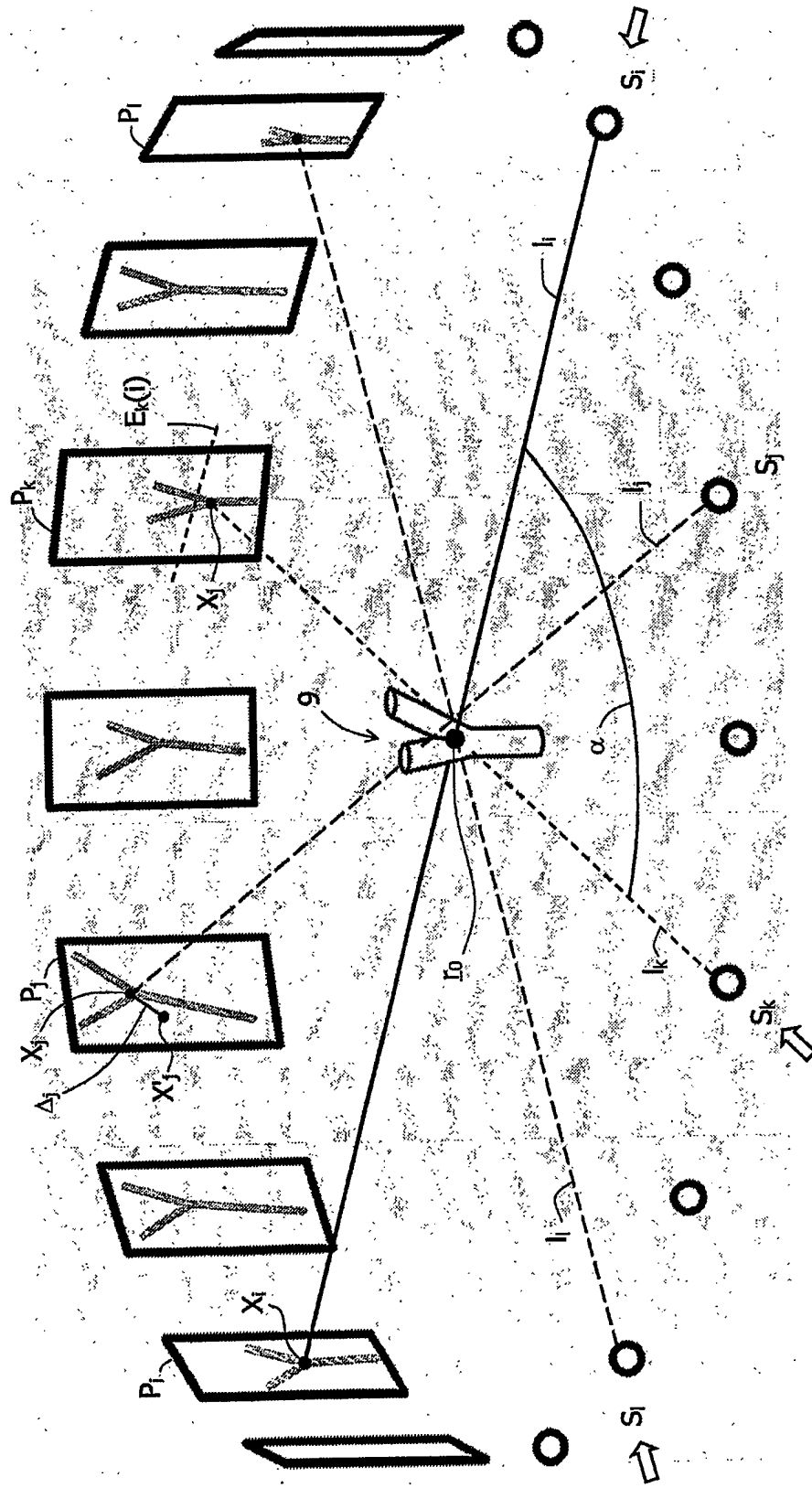


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.